

金属切削原理及刀具

沈阳航空工业学校机加专业翻印

1977年3月

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一改三结合，大搞技术革新和技术革命。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

送进运动——使新的金属陆续投入切削、从而保证切削过程继续进行的运动，称为送进运动。车削时，车刀的轴向移动就是送进运动。

送进运动的大小叫做送进量（走刀量），用字母 S 表示，单位是毫米/转。

此外，每当走完一次刀以后，车刀要沿工件的半径方向，向工件靠拢一些，然后开始下一次走刀。这个运动决定切削深度（吃刀深度）的大小，它的单位是毫米，用字母 t 表示。车外圆时：

$$t = \frac{D - D_1}{2} \quad (\text{毫米})$$

式中 D 和 D_1 分别为工件加工前和加工后直径。

上述切削速度、送进量和切削深度三者合在一起，称为切削用量。它表示切削过程进行得快慢，反映单位时间内切下金属体积的大小。所以，它与生产率的高低有着密切的关系。同时，切削用量的大小对机床功率消耗、零件质量等有很大影响。

车刀的构造及几何形状

车刀由刀杆和刀头组成。刀杆用于固定和夹紧，它的形状比较简单。刀头担任切削工作，它是一个复杂的立体，主要由如下三个面构成（图1—2）。

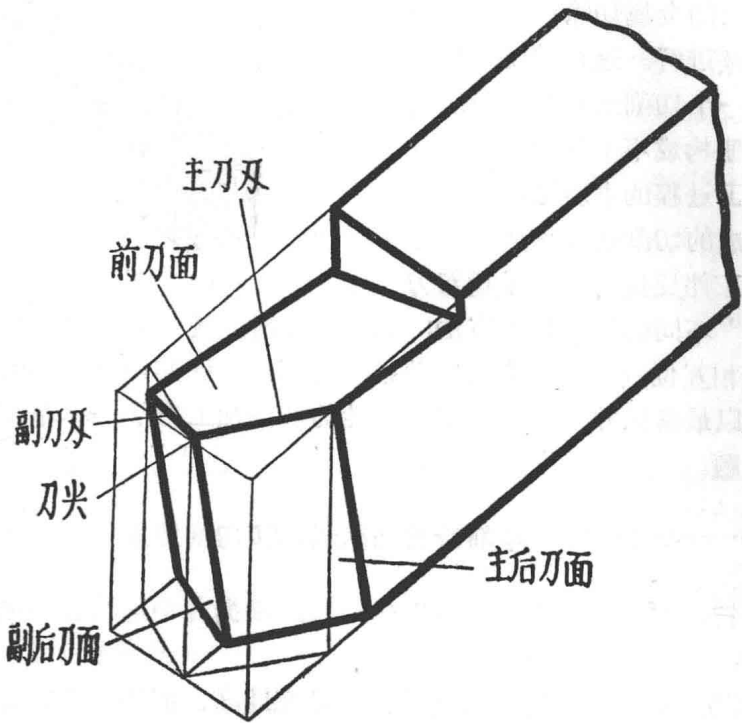


图 1—2

前刀面——切削时，刀头上和切屑相接触的平面，称为前刀面（或前面）。

后刀面——切削时，刀头上面对着工件切削表面的平面，称为后刀面（或后面）。

副后刀面——切削时，刀头上面对着工件已加工表面的平面，称为副后刀面（或副后

面)。

以上三个面相交,形成刀尖和刀刃。

刀刃——前刀面和后刀面的交线,称为主刀刃。它负担主要的切削工作量,它的工作部分长度较大;前刀面和副后刀面的交线,称为副刀刃。它在切削过程中起辅助的作用。工作长度较短。

刀尖——主刀刃和副刀刃的交点称为刀尖。刀尖一般不是绝对尖锐的,为了增加刀尖的强度和耐磨性,往往将它磨成圆弧形或一段直线(图1—3)。这种介于主、副刀刃之间的圆弧或直线形的刀刃,称为过渡刀刃。

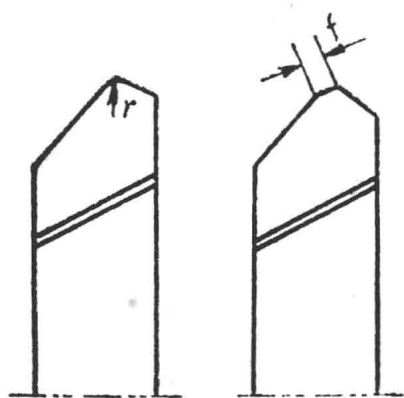


图 1—3

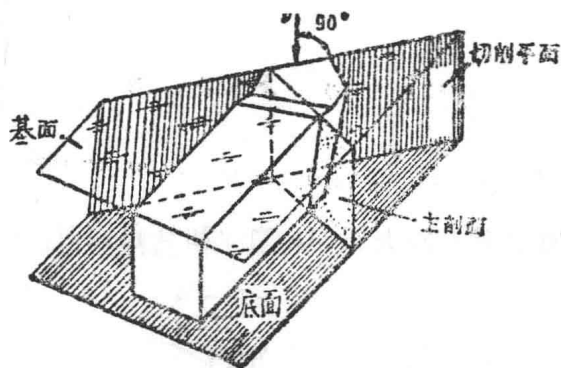


图 1—4

刀头上各个刀面和刀刃在空间所构成的几何形状,对切削加工的效果有很大的影响,这种空间位置用角度来表示。在车刀上为了使切削过程顺利进行,将前刀面和后刀面都磨成倾斜的,即车刀的前刀面往往不是水平的,后刀面不是垂直的。为了定量地确定车刀刀头上各个刀面的位置,我们人为地制订了几个座标平面,作为测量刀具几何形状时的基准(图1—4)。

第一个座标平面叫基面。基面是通过刀刃上某点、并且和该点的切削速度方向相垂直的平面。在车刀上,就是通过该点与刀杆底平面平行的平面。这是因为在刃磨车刀时,一般都假定切削速度的方向是和刀杆底面垂直的。

第二个座标平面叫切削平面。切削平面是通过刀刃上某一点,并且和切削表面相切的平面。在车削时,切削平面可以看成是一个垂直面(和刀杆底面垂直的平面)。

第三个座标平面叫主剖面。主剖面是通过刀刃上某一点,并与切削平面和基面相垂直的平面。

以上三个座标平面,是互相垂直的(图1—4)。下面以这三个座标平面为基础,讨论刀头上的各个角度和它们的功用(图1—5)。

(I) 在主剖面N—N中测量的角度:

a) 前角(γ)——前角是前刀面和基面之间的夹角。前角大,则刀刃锋利,排屑流畅,切削过程比较轻快。但过大的前角会影响刀刃的强度。

b) 后角(α)——后角是后刀面和切削平面之间的夹角。后角的作用是减小后刀面和工件之间的摩擦。

c) 楔角(β)——楔角是前刀面和后刀面之间的夹角。它的大小对刀刃和刀头的强度以

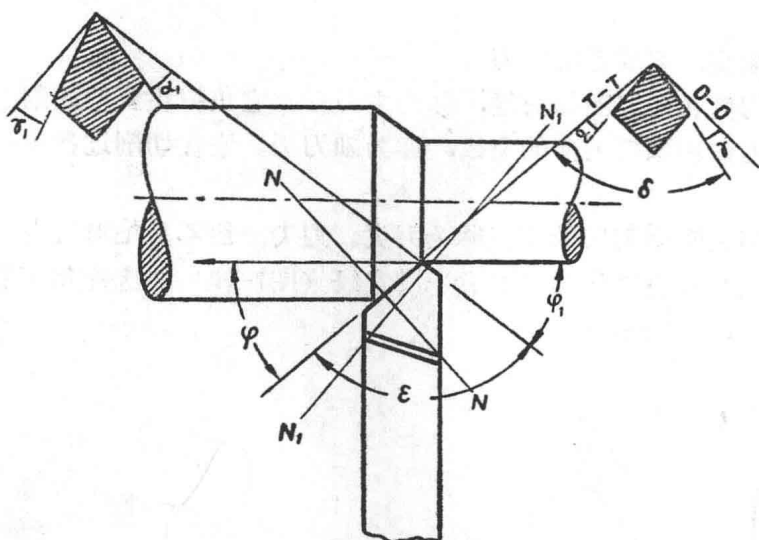


图 1—5

及散热条件有很大影响。当 γ 和 α 已定时, β 值可按下式计算。

$$\beta = 90^\circ - \gamma - \alpha$$

(II) 在基面测量的角度:

a) 主偏角(φ)——主偏角是主刀刃在基面上的投影和送进方向之间的夹角。主偏角的大小, 将影响刀刃的工作长度、切削厚度、切削宽度和切削的方向。关于这一点, 以后要详细讨论。

b) 副偏角(φ_1)——副偏角是副刀刃在基面上的投影和送进方向之间的夹角。它的大小对工件的表面光滑度有直接影响。

c) 刀尖角(ε)——刀尖角是主刀刃和副刀刃在基面上的投影之间的夹角。它的大小对刀尖的强度和散热条件有直接影响。当 φ 和 φ_1 已定时, ε 值可用下式计算。

$$\varepsilon = 180^\circ - \varphi - \varphi_1$$

(III) 在切削平面中测量的角度:

刃倾角(λ)——刃倾角是主刀刃和基面之间的夹角。这个角度表示刀刃在切削平面中的倾斜程度, 它的大小对刀刃强度及切屑流出的方向有直接影响。当刀尖是刀刃的最低点时, λ 角为正值, 刀刃的强度最好, 切屑从操作者右边排出。当刀尖是刀刃的最高点时, λ 角为负值, 刀刃的强度最差, 切屑从操作者的左边排出。当刀刃和基面平行时, λ 角为零(图 1—6)。

此外, 还有表示副后刀面位置的副后角(α_1), 它在副剖面 N_1-N_1 中测量, 它的作用是减少副后刀面和工件之间的摩擦。

在上述角度中, γ 、 α 、 φ 、 φ_1 、 λ 和 α_1 是基本。一把车刀必须通过这些基本角度把刀面和刀刃的空间位置表示出来, 也就是说, 在刀具图纸上必须标注出上述角度, 以便制造和刃磨刀具。因此, 上述各个角度可以称为刀具的刃磨角度。

因为刀具在工作时的安装位置、工件形状和切削运动, 在一定程度上会引起刀具角度的变化, 所以就产生了刀具工作角度的概念。在一般情况下, 刃磨角度和工作角度相差不多,

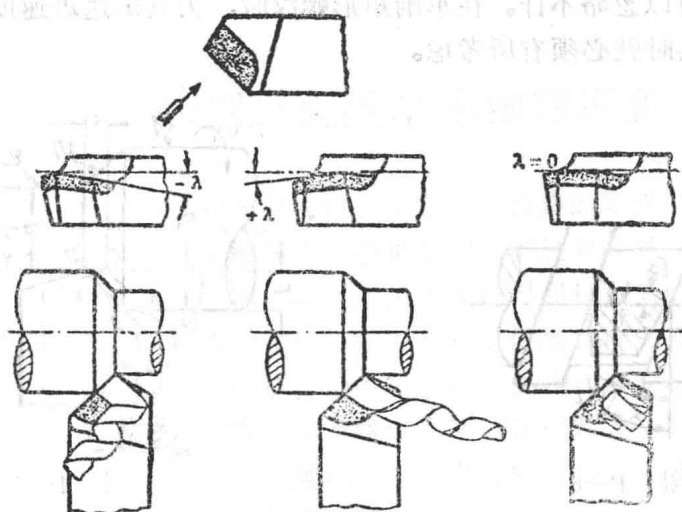


图 1—6

但是在某些情况下（如车螺纹、车凸轮等），二者差别甚大。现举例说明如下。

1) 刀刃高低所引起的变化（图1—7）：

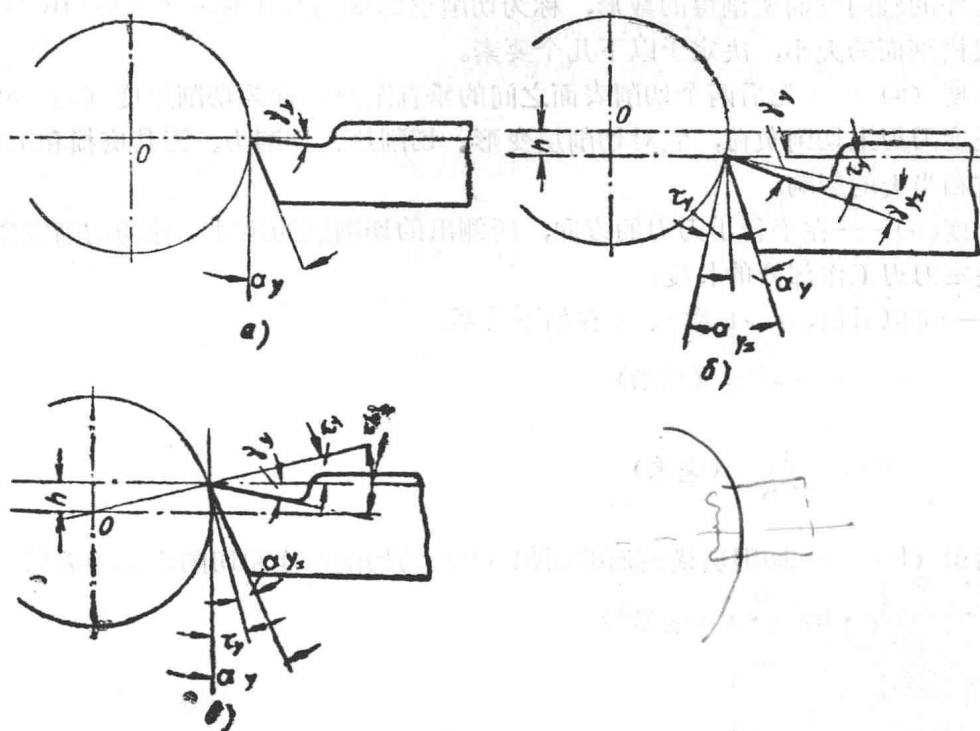


图 1—7

对外圆车刀来讲，如果刀刃安装得高于工件中心线，则前角增大、后角较小；如果刀刃安装得低于工件中心线，则前角减小，后角增大。镗孔时的情况恰巧相反。

2) 送进运动引起的变化（图1—8）：

在车削矩形螺纹时，由于刀刃处的车削速度的方向不是垂直向下的，所以切削平面和基面的方向都有了变化。结果使左刀刃上的后角减小、前角增大，右刀刃的情况正好相反。显然。角度变化的数值和螺纹升角的大小有关。严格地讲，送进运动引起刀具工作角度变化的

情况，在车普通螺纹和外圆表面时，也同样存在。但由于当时的送进运动速度较小，工作角度变化不大，因此可以忽略不计。在车削矩形螺纹时，刀具的送进速度相当大，工作角度变化的问题在设计刀具时必须有所考虑。

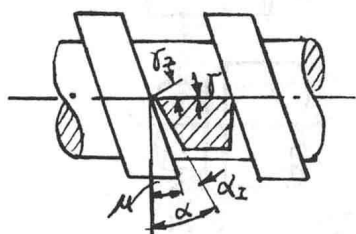


图 1—8

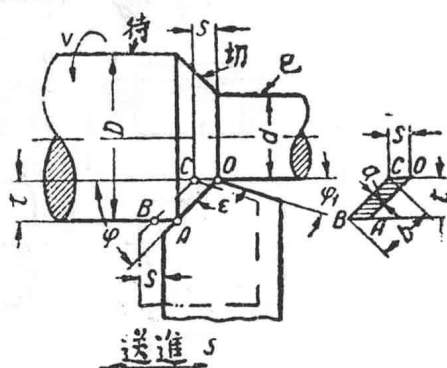


图 1—9

§ 1—3 切削层横剖面的要素

工件每旋转一周，主刀刃先后两个相邻位置之间的一层金属，就是切削层（图1—9）。切削层被工件的轴向剖面所剖得的截形，称为切削层的横剖面（图1—9中的ABCD）。

切削层横剖面的大小，决定于以下几个要素。

切削厚度（a）——先后两个切削表面之间的垂直距离，称为切削厚度（a）。a值的大小决定单位长度刀刃上切削负荷，它对切削层变形、切削热、切削力、刀具磨损和工件的表面质量等都有相当大的影响。

切削宽度（b）——在平行于刀刃的方向，所测出的切削层的尺寸，称为切削宽度（b）。切削宽度决定刀刃工作部分的长度。

从图1—9可以看出，a、b和s、t有如下关系：

$$a = s \cdot \sin \varphi \text{ (毫米)}$$

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} \text{ (毫米)}$$

切削面积（F）——切削层横剖面的面积（F）为切削厚度和切削宽度的乘积。即

$$F = a \cdot b = s \cdot t \text{ (毫米}^2\text{)}$$

第二章 切削过程的基本物理现象

当刀具从工件上切除一部分多余的金属材料、使之成为合格的零件的过程中，工件要反抗刀具的切除。这一“切除”与“反切除”的矛盾贯穿在切削过程的始终。因此，切削过程就是工件和刀具之间相互矛盾的过程。其表现形式为工件材料经过复杂的变形、产生切削阻力、消耗机床的功率，同时产生大量的切削热，使刀具和工件的温度升高，最后导致刀具磨损、逐渐变钝。因此，被切金属材料的变形、切削力、切削热和切削温度、刀具磨损等切削过程的物理现象，是切削原理的重要内容。本章将研究随着切削基本矛盾的发展，上述基本物理现象产生和发展的规律，以便利用这些规律去控制各种物理现象向有利于我们的方向发展，使之更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。

§ 2—1 切削过程中的变形

(I) 切屑的形成过程：

被切的金属材料是通过什么样变形而成为切屑的？目前存在着各种各样的说法。这些说法都有一定道理，但也都存在着这样或那样的局限性。现在选一种简单明了的说法，介绍如下。

在主剖面中，楔形的刀具沿箭头 v 的方向直线移动，开始以前刀面挤压被切金属，使这部分金属弹性变形。随着刀具的前移，金属内部的应力不断增加，因此逐渐发展到塑性变形。当应力达到强度极限时，一部分材料（平行四边形 $CDEF$ ）沿着某一个斜面（图中 $C-F$ 面）滑移而与基体分离，成为切屑（平行四边形 $C'D'E'F'$ ）。刀具继续往前移动，前刀面就挤压另一部分金属材料（ $BCFG$ ）使这部分材料重复上述过程而成为另一部分切屑。

（ $B'C'F'G'$ ）。接着，刀具又使 $ABGH$ 这一部分材料变成切屑（ $A'B'G'H'$ ）。这样的过程不断进行下去，一层被切的金属就逐渐地变成了一条切屑。图中 $A-H$ 、 $P-G$ 、 $C-F$ 、 $D-E$ 等面，称为剪切面。这些面和切削速度方向之间的夹角，称为剪切角（ ϕ ）

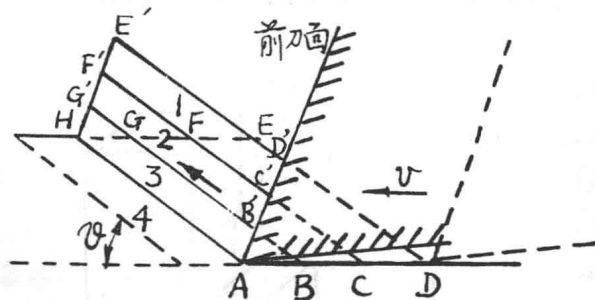


图 2—1

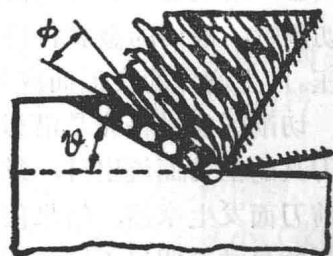


图 2—2

当切屑沿着前刀面流出时，切屑上和前刀面相接触的一层金属，要受到前刀面的挤压和摩擦，结果使这部分金属沿切屑流出相反的方向变形，并使切屑卷曲而离开前刀面。

图2—2为切屑的金相磨片示意图，从图中可以明显地看出切屑沿剪切面一层层地滑移。

切屑中的金属的晶粒由于剧烈的变形而明显地拉长；在靠近前刀面处，切屑中的晶粒往切屑流出相反的方向剧烈地变形。

(II) 切屑的形态：

在不同的切削条件（如不同的切削速度、工件材料、刀具角度等）下，切屑在形成过程中变形的程度大不一样，所以得出的切屑外貌也有很大差异。根据不同的外貌切屑大致可以分成四种形态（图2—3）。

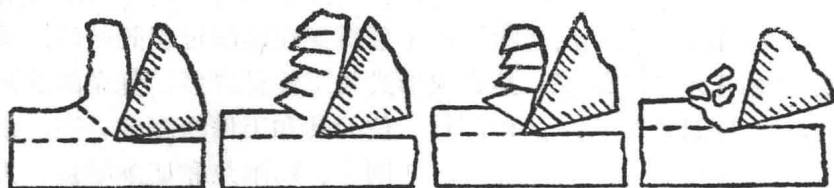


图 2—3

a) 带状切屑——切屑延续很长呈带状，背面无明显裂纹。这是当切屑内部应力还没有到达破裂点时所形成的，得带状切屑时，切削力比较稳定，工件表面光洁度比较高。但对于带状切屑，有时要采取断屑措施，否则可把影响工人的操作。用大前角的刀具切削韧性大的材料时，常常得到带状切屑。

b) 节状切屑——切屑的背面有较深的裂纹，看上去是一节一节的。这是由于在剪切面上部分地方的剪应力达到破裂点而形成的。形成节状切屑时，切削力有波动，工件表面光洁度比较差。

c) 粒状切屑——假如整个剪切面上的剪应力都达到了破裂点，以致裂纹贯穿在整个切屑的横断面上，那么切屑就分离成颗粒状。这种切屑在生产上比较少见。用小前角刀具以低的切削速度和大的送进量切削钢料时，可能得出这种切屑。形成这种切屑时，切削力变化更大。工件表面光洁度明显下降，切削过程进行得不顺利。

d) 崩碎切屑——在切削脆性材料（如铸铁、青铜）时，切屑往往都呈不规则的细末状。这种切屑是在金属发生弹性变形的过程中，突然崩碎脱落而形成的，此时切削力变化很大，工件表面光度较差，刀刃容易磨损。

以上只是切屑的大致分类，在实际生产中，还可能看到介乎上述四种切屑之间的过渡形态。同时，同一种工件材料，在不同的切削条件下，也可以形成不同形态的切屑。

(III) 切屑变形程度的衡量方法：

切削时，被切的金属材料受到刀具前刀面的挤压，产生剧烈的变形而成为切屑。在这个过程中，切削区的材料先是沿剪切面滑移，然后在沿刀具的前刀面流出时，继续受到挤压，同时与前刀面发生摩擦，结果使切屑的尺寸和被切金属的尺寸有明显不同。切削一般钢料时，切屑的长度 $L_{\text{屑}}$ 比被切的金属的长度 L 小了，而切屑的厚度 $a_{\text{屑}}$ 却比被切金属层的厚度 a 大了，如图2—4所示。这种现象，叫做切屑的收缩。

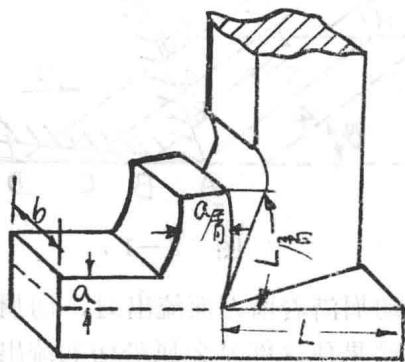


图 2—4

实验证明, 切屑的宽度 $b_{\text{屑}}$ 和被切金属层的宽度 b 基本相同。再考虑到变形前后金属的体积不应有变化。于是得

$$a \times b \times L = a_{\text{屑}} \times b_{\text{屑}} \times L_{\text{屑}}$$

因为 $b = b_{\text{屑}}$

故
$$\frac{L}{L_{\text{屑}}} = \frac{a_{\text{屑}}}{a}$$

上式中的 $\frac{L}{L_{\text{屑}}}$, 称为切屑的收缩系数, 常用 ξ 表, 一般大于 1。即

$$\xi = \frac{L}{L_{\text{屑}}} = \frac{a_{\text{屑}}}{a} > 1$$

收缩系数 ξ 表示被切金属宏观的尺寸变化, 可以用来衡量切削过程中金属的平均变形的程度。 ξ 值大, 变形就大, 否则反之。 ξ 的大小直接影响切削力、切削热、工件表面质量和机床功率的消耗, 它是衡量切削过程顺利与否的标志之一, 因此它也是研究其它切削规律的基础之一。

$L_{\text{屑}}$ 和 $a_{\text{屑}}$ 可以从切屑上直接测量, L 和 a 可以从工件上测量或通过计算求得, 所以 ξ 值是很容易确定的。

(IV) 切屑变形程度的变化规律 (影响切屑变形程度的因素):

切削过程中变形的大小, 会影响切削力的大小、切削温度的高低, 并且会影响机床功率的消耗和已加工表面的光洁度等。因此, 掌握变形的规律, 不但有助于理解切削力和切削温度的变化, 更重要的是能帮助我们设法采取措施控制切削力和切削温度, 提高工件的光度和精度, 延长刀具的寿命。

由于切削过程是工件和刀具双方对立统一的运动过程, 所以影响切削过程中切屑变形的因素, 主要来自下列三个方面。

工件方面: 如工件材料的强度、硬度;

刀具方面: 如刀具的几何角度;

切削条件方面: 如切削用量、冷却润滑液。

实验证明, 对切屑变形影响较大的因素是: 工件材料的强度; 刀具的前角; 切削速度; 进给量和主偏角。现在逐个分析如下:

1) 工件材料对切屑变形的影响——简单地说, 工件材料的塑性大, 形成切屑时变形就大, 反之变形就小。这是因为塑性大的材料比较容易变形, 所以切削大塑性的材料 (如软钢) 时, 切屑的收缩系数大, 工件的表面光洁度较差。

2) 刀具前角对切屑变形的影响——在刀具上采用大的前角, 刀具就比较锋利, 易于切入金属, 并且切屑流出时前刀面对它的阻力也比较小, 因此被切金属的变形就小 (收缩系数 ξ 的数值较小)。反之, 在刀具采用小的 (或负) 的前角时, 被切金属变形就大, 收缩系数的数值 ξ 较大。

3) 切削速度对切屑变形程度的影响——实验证明, 切削速度对切屑变形的影响, 如图 2—5 所示。随着切削速度的提高, 收缩系数 ξ 为什么出现时大时小的现象? 这个问题可以解释如下:

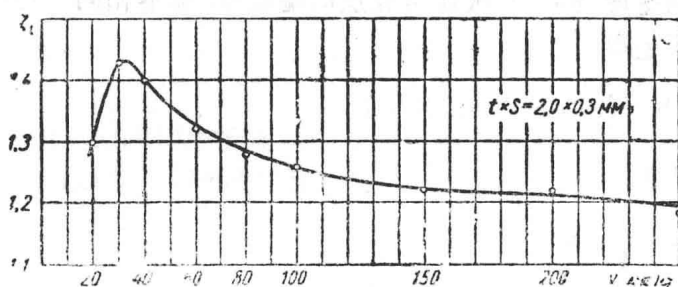


图 2—5

在切削速度低的范围内 ($v \leq 40$ 米/分), 切削速度主要通过刀瘤对切屑变形的程度起作用。在切削速度为 $0 \sim 20$ 米/分的范围内, 随着切削速度的提高, 刀瘤逐渐增大 (图2—6), 刀具实际前角 $\gamma_{实}$ 相应增大, 因此切屑的变形逐渐减小。当刀瘤的高度 $h_{瘤}$ 达到最大值时 (切削速度为20米/分左右), 变形为最低值。当切削速度继续提高时, 刀瘤开始逐渐消失, $\gamma_{实}$ 逐渐减小, 收缩系数 ξ 相应地有所回升。当刀瘤变得很小时, 收缩系数 ξ 达到最高值。在切削速度高的范围内 ($v \geq 40$ 米/分), 随着切削速度的提高, 由于金属的变形来不及充分地进行, 另外因为此时切屑的底层在高温下成为微溶状态, 使切屑和前刀面之间摩擦减小, 所以收缩系数逐渐减小并趋于稳定状态。

因为 40 米/分以下的切削速度比较少用, 所以这个规律的实际意义是: 我们可以通过提高切削速度来减小变形、降低切削力、避免刀瘤以提高表面光洁度。这就是高速切削时, 切削力较小, 表面光洁度较高的原因之一。

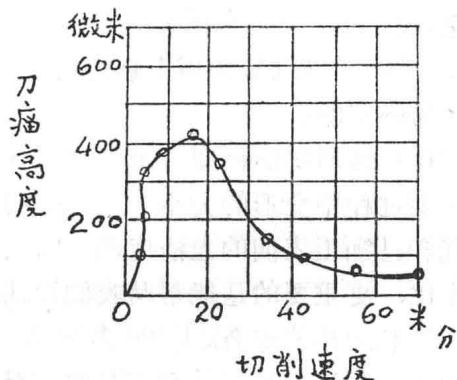


图 2—6

4) 送进量对切屑变形程度的影响——由于切屑沿着前刀面流出时, 切屑底层要和前刀面发生剧烈的挤压与摩擦, 使切屑进一步变形。因此切屑底层的变形要比上层剧烈得多。当送进量增大而使切削厚度随之增大时, 发生剧烈变形底层的厚度增加得并不多 (图2—7)。也就是说, 此时变形程度较大的金属层在切屑总体积中所占的百分比下降了, 因此切屑的平均变形程度反而减小了。所以, 当送进量增大时, 收缩系数一般会减小 (图2—8)。

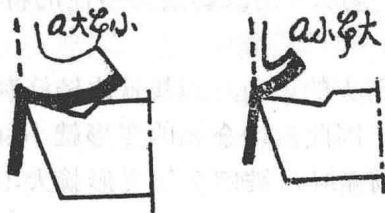


图 2—7

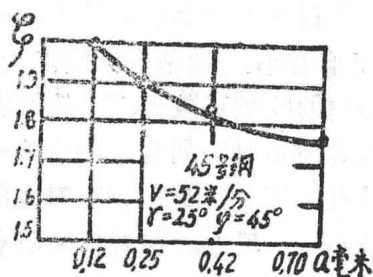


图 2—8

以后会讲到, 在拉削中采用分组式拉削方式, 就是通过减小切削宽度而增大切削厚度 (使切削断面保持不变), 从而减小了切屑变形, 使拉削力减小, 使拉刀长度缩短。

5) 主偏角对切屑变形程度的影响——在其他条件不变的情况下, 采用大的主偏角, 切削厚度也随之增大。根据图2—8可知, 此时切屑的变形会有所减小。

除上述因素外, 刀尖半径 r 、冷却润滑的条件、刃口圆弧半径等对变形程度也有影响。

§ 2—2 切 削 力

刀具在切削过程中, 必须克服工件材料变形时的抗力以及工件和切屑与刀具之间的摩擦力, 才能切下切屑。这些力的总和, 就是切削力。

切削力是生产中的一个重要问题, 它和切削时功率的消耗、刀具的寿命、工件的质量等都有直接关系。

1) 切削力的产生:

切削时, 工件按箭头 A 的方向旋转 (图2—9), 它的部分材料受车刀前刀面的挤压, 发生弹性变形、塑性变形直接破裂而成为切屑。这部分材料在发生变形时, 就会有一个抗力 N_1 垂直地作用在刀具的前刀面上。另外, 由于材料的弹性恢复, 在工件的已加工表面上, 会有很少的部分材料凸出来 (图2—9中虚线所示)。于是, 已加工表面和车刀的后刀面之间就会有在很短的一段长度内互相挤压 (图2—9中粗线所示)。当然, 已加工表面上的这部分材料, 一定也会有一个力 N_2 垂直地作用在刀具的后刀面上。将 N_1 和 N_2 两个力合成起来, 就得到合力 N 。

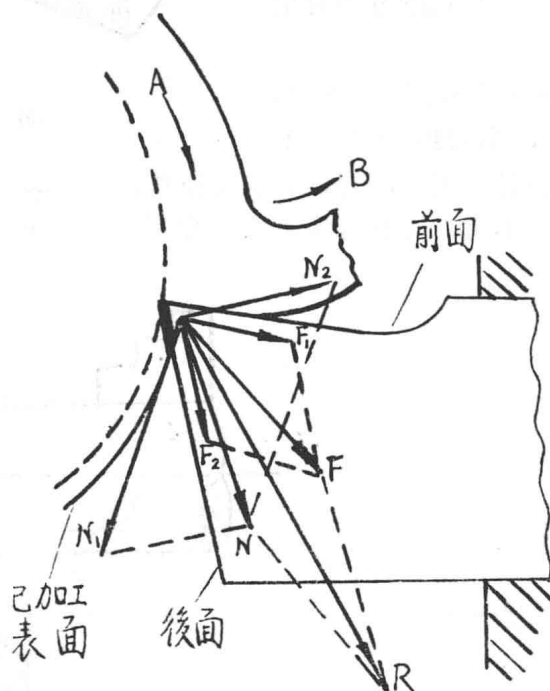


图 2—9

另外, 由于切屑要按箭头 B 的方向沿着车刀的前刀面流动, 所以它会有一个摩擦力 F_1 平行于刀具的前刀面作用在车刀上; 同样, 当工件按箭头 A 的方向旋转时, 已加工表面也会有一个摩擦力 F_2 平行于刀具的后刀面作用在车刀上。将 F_1 和 F_2 合成起来, 就得合力 F 。最后, 还可以将 N 和 F 合成, 它们的合力 R , 就是总的切削力。

2) 切削力对生产过程的影响:

我们所以要研究切削力，是因为它对生产过程有相当大的影响。为了研究切削力对生产的影响，必须知道这个力有多大？它是往哪个方向作用的？下面分别讨论这两个问题。

把图2—3中的切削力 R 移到立体图（图 2—10）上，这个力是空间倾斜地（即既不和工件轴线平行、也不和刀具轴线平行、并且不垂直于二者）作用在车刀上的。要分析这样一个空间倾斜的作用力对刀具和工件的影响比较困难，为了方便，我们将这个切削 R 力分解成三个互相垂直的分力。

通过 R 的作用点，在空间定三个互相垂直的坐标轴：

X —— X 轴和工件轴线平行；

Y —— Y 轴和刀杆方向一致；

Z —— Z 轴和上述两轴垂直。

沿 X 、 Y 和 Z 三个坐标轴，将 R 分解成三个分力。此时， R 为一个六面体的对角线，而三个分力分别为这个六面体的三条直角边（图2—10）

三个分力中， P_x 和工件轴线平行，称为轴向切削分力； P_y 在工件的半径方向，称为径向切削分力； P_z 和工件的切线方向一致，称为切向切削分力。下面讨论这三个切削分力对生产的影响。

a) 切向切削力 P_z 对生产的影响—— P_z 作用在车刀上（图2—11），车刀相当于一个受力的悬臂梁。显然，在设计车刀时，刀杆的强度和刚度应该根据弯曲力矩 $M = P_z \times l$ 进行计算。如刀杆的强度和刚度不够，刀具可能在 P_z 的作用下发生振动甚至折断。

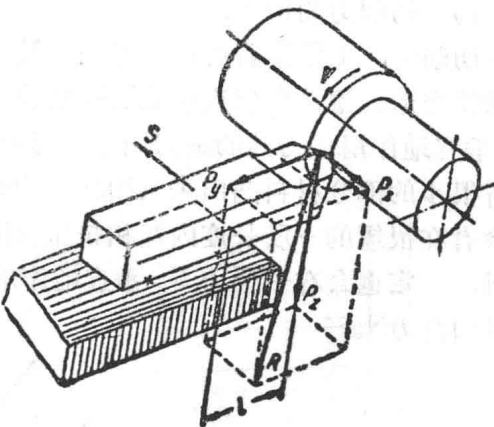


图 2—10

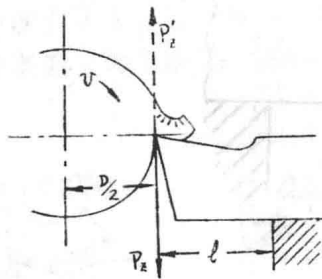


图 2—11

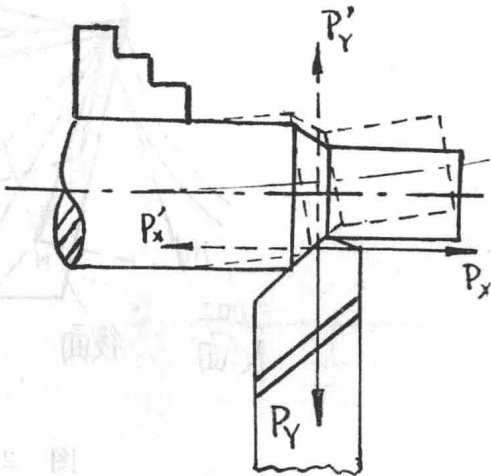


图 2—12

工件有一个力 P_z 作用在车刀上，车刀必然会有一个反作用力作用在工件上，这个力称为 P'_z (图2—11中虚线所示)， P'_z 和 P_z 大小相等方向相反。 $(P'_z = -P_z)$ 。 P'_z 的作用方向正好和工件的旋转方向相反。机床只有克服了扭矩 $M = P'_z \times \frac{D}{2}$ ，才能带动工件旋转（此

处 D 为工件直径)。因此, 机床电动机的功率, 主传动链的齿轮、轴等零部件的强度和刚度, 应该根据切向切削力 P_z 进行计算。

b) 径向切削力 P_Y 对生产的影响—— P_Y 沿着刀杆从工件作用在车刀上 (图2—12), 因此, 刀架的强度和刚度、刀具的夹紧力等都和 P_Y 的大小有关。

P_Y 的反作用力 P'_Y (图2—12中虚线所示), 从车刀作用在工件上。此时, 工件相当于一个受力的悬臂梁, 如果机床——工件——刀具系统的刚性不够, 则在切削时将发生振动或使工件弯曲 (图2—12中虚线所示), 影响工件的精度和光度。

c) 轴向切削力 P_X 对生产的影响——和 P_z 、 P_Y 的情况一样, 轴向切削力也应该是成对 (作用力 P_X 和反作用力 P'_X) 地存在的 (图2—12), P_X 力通过车刀作用在刀架、溜板上。显然, 车床上的走刀机构只有克服了这个阻力, 才能带动溜板往前移动, 因此, 设计走刀机构计算齿轮、丝杠等零件的强度和刚度时, 应该以这个力为基础。 P'_X 通过工件作用在夹具和车床的主轴上。因此, 设计夹具、选择车床主轴轴承时, 应该考虑这个力的大小。

d) 切削功率的计算——在一般情况下, P_z 最大, P_Y 次之, P_X 最小。例如, 用 $\gamma = 15^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\lambda = 0^\circ$ 的车刀、以 $t > s$ 的用量车削普通碳钢的外圆时, 三个切削分力的比例关系约为:

$$P_z : P_Y : P_X = 1 : 0.4 : 0.25$$

因为

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_Y^2 + P_X^2}$$

故

$$R = \sqrt{P_z^2 + 0.4P_z^2 + 0.25P_z^2} \approx 1.12P_z$$

由此可见, 切削分力 P_z 在数值上与合力 R 很接近。一般称为主切削力。另外, 考虑到刀具和工件之间的相对运动主要是在 P_z 的方向, 所以在计算切削时所消耗的功率 $N_{\text{切}}$ 时一般只考虑 P_z 即:

$$N_{\text{切}} = \frac{P_z \cdot v}{60 \times 102} \text{ 瓩}$$

式中: P_z ——切向切削力 (公斤)

v ——切削速度 (米/分)

3) 切削力的变化规律:

从以上讨论, 我们知道了切削力对生产过程有各种各样的影响 (消耗功率、决定机床零部件的强度、影响加工精度等等)。因此, 我们还必须研究切削力变化的规律 (即在什么情况下切削力将增大? 在什么情况下切削力将减小?) 以便采取措施控制切削力, 更好地完成生产任务。

根据已有的实践经验和理论知识, 我们可以先对切削力的变化规律, 作一个初步的估计 (图2—9)。

因为、 P_X 、 P_z 、 P_Y 或它们的合力 R , 首先是由于工件上部分材料发生变形时的抗力 N_1 和 N_2 而产生的。所以根据材力方面的知识, 我们可以推论, 切削力的大小一定和工件材料的物理机械性能 (强度或硬度) 有关。工件材料的强度 (σ_b) 或硬度 (HB) 大, 变形时的抗力大, 切削力必然也大; 反之, 工件材料的强度 (σ_b) 或硬度 (HB) 小, 变形时的抗力小。切削力必然也小。

另外，从材力中我们还知道，变形时抗力的大小还和变形材料横断面面积的大小有关。被切材料的横断面大，变形时的抗力就大，切削力必然也大。否则反之。在我们这里，被切材料（变形材料）的横断面的面积等于切削深度（ t ）和送进量（ s ）的乘积，因此，可以推论，切削力一定和切削深度（ t ）以及送进量（ s ）有关。

切削力 P_x 、 P_Y 、 P_z 或它们的合力 R 还和摩擦力 F_1 和 F_2 有关，因此可以推论，切削时采用冷却润滑液或将刀具的前、后面研磨得很光滑，使切屑——刀具前面；已加工表面——刀具后面之间的摩擦系数减小，必然能使切削力减小。

除了上述各个因素外，切削过程中还有一些因素如切削速度、刀具角度等均可能在相当大的范围内变化。例如切削速度可以从每分钟数十米至每分钟数百米的范围内变化；刀具的前角可以在 $+20^\circ$ 至 -15° 范围内变化。这些因素的变化是否会对切削力有所影响呢？

综上所述，我们知道，切削力应该和工件材料的物理机械性能、切削深度、送进量有关，另外，还可能和切削速度、刀具几何角度以及是否采用冷却润滑液等等有关。这些估计是否正确？尚有待证明。因为检验真理的唯一标准是实践，所以课后安排一次实验，由我们自己动手进行一次实验来证明上述分析是否正确，并进一步研究切削力的变化规律。

这次实验按以下的步骤进行：

（1）了解切削力的测量方法（非电量电测的一种），了解本试验所使用的仪器的构造和调整方法；

（2）分别研究各个因素（工件材料，切削速度、送进量，切削深度，刀具角度等等）对切削力的影响；

（3）实验数据处理，将实验结果所得的数据画成曲线，化成公式；

（4）分析讨论，进一步分析研究切削力的变化规律，弄清切削力为什么会随着这些因素起这样的变化。我们怎样运用这个规律为生产服务。下面逐项讨论一下：

（1）切削力的测量方法

为了分别地（并且是互不影响地）测出三个切削分力（ P_x ； P_Y ； P_z ），专门设计了一个测力刀架（传感器的一种，见图2—13）。当切削力 P_z 作用在车刀上时，测力刀架上的两个弹簧元件（悬臂） a 和 b 将发生大小相等符号相反的弹簧变形，于是粘在这两个弹簧元件上的电阻丝片 R_{z2} 和 R_{z4} 将分别发生伸长和缩短的变形，最后导致电阻丝片 R_z 的阻值增大和 R_{z4} 的阻值减小。在对称的位置上，有另外两个弹性元件（悬臂），上面分别粘着另外两个电阻丝片 R_{z1} 和 R_{z3} （图2—14），在切削力的作用下，这两个电阻丝片的阻值也将发生相应的变化，即 R_{z1} 的阻值将增大，而 R_{z3} 的阻值将减小。

将 R_{z1} ； R_z ； R_{z3} ；和 R_{z4} 连成电桥（图2—15）。切削力作用前，电桥中四个电阻的阻值相等，电桥处在平衡状态，输出端无信号。切削力作用后，电阻 R_{z1} 和 R_{z2} 的阻值增大， R_{z3} 和 R_{z4} 的阻值减小，电桥平衡破坏，输出端就会产生一个电压信号。再经过放大和接连线路，我们就可以在电表上（或示波器上）读出随 P_z 而变的电压信号的大小。

粘在弹性元件（悬臂） a 和 b 上的另外一些电阻丝片 R_{Y1} ； R_{Y2} ；…… R_{Y4} 用于测量切削分力 P_Y ；电阻丝片 R_{x1} ； R_{x2} …… R_{x8} ；用于测量切削分力 P_x ，它们的工作原理和测量 P_z 时相似。

用上述方法测出的（在电表上读出的）只是电压信号（伏数），还应该利用专门的图表，将电表读数换算成公斤数。

（2）分别研究各个因素对切削力的影响

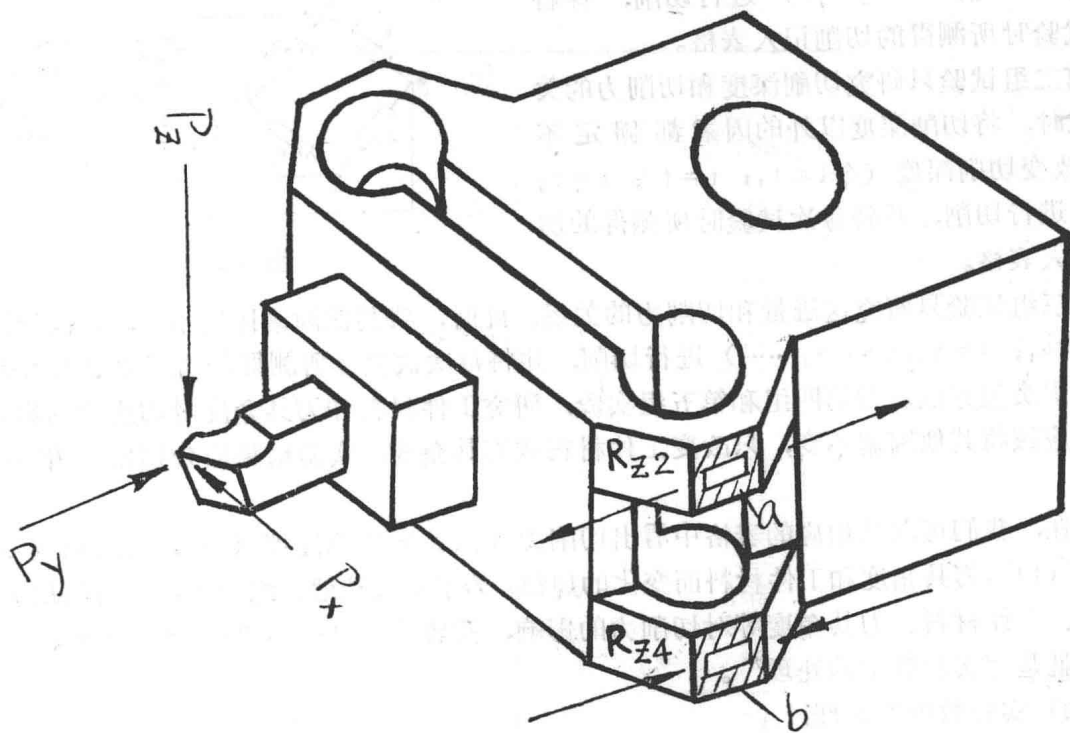


图 2—13

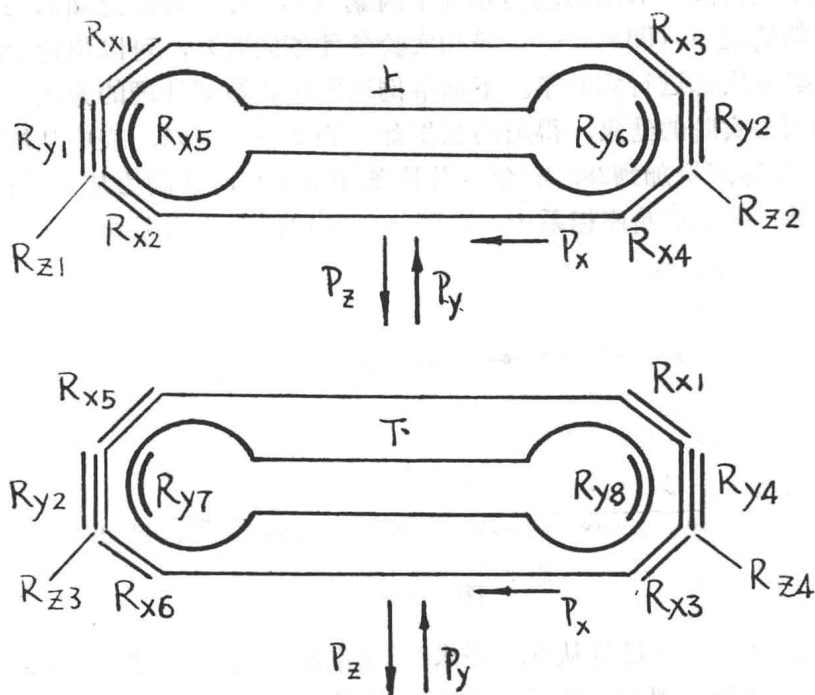


图 2—14

用试验方法同时研究若干个因素（切削速度、切削深度、送进量等）对切削力的影响比较困难。为了方便，可以分别地研究各个因素对切削力的影响，具体做法如下：

第一组试验只研究切削速度和切削力的关系。此时，将刀具（如刀具材料、刀具角度等）、工件（工件材料等）、切削深度和送进量等固定不变，只按次序改变切削速度（令

$v = v_1; v = v_2; v = v_3 \dots\dots$) 进行切削, 并将每次试验时所测得的切削力记入表格。

第二组试验只研究切削深度和切削力的关系。此时, 将切削深度以外的因素都固定不变, 只改变切削深度 (令 $t = t_1; t = t_2; t = t_3 \dots\dots$) 进行切削, 并将每次试验时所测得的切削力记入表格。

第三组试验只研究送进量和切削力的关系。此时, 将其他因素固定不变, 只改变送进量 (令 $s = s_1; s = s_2; s = s_3 \dots\dots$) 进行切削, 并将每次试验时所测得的切削力记入表格。

采用类似方法进行第四组和第五组实验, 研究工作件材料和刀具角度对切削力的影响, 当然此时应该将其他因素不变, 只改变工件材料或刀具角度。实验结果应分别记入相应的表格。

现在, 我们可以从相应的表格中看出切削力 (P_z) 随切削速度 (v)、送进量 (s)、切削深度 (t)、刀具角度和工件材料而变化的规律。为了更直接地、综合地反应切削用量 (v 、 s 、 t)、工件材料、刀具角度等对切削力的影响, 需要将表格中的数据加以整理、化成公式。这就是“实验数据的处理”。

(3) 实验数据的处理:

数据处理, 就是将实验中所获得的数据, 改画成曲线, 并且进一步转化成公式, 这样一方面可以一目了然地从公式中看出切削力和各个因素 (v 、 s 、 t 等) 之间的关系, 并且, 在以后切削条件改变的情况下 (即 v 、 s 、 t 等和实验条件不同时), 可以用这个公式直接算出切削力的大小, 而不必每次都进行实验了。下面举例说明实验数据处理的方法。

假定某次切削力实验的结果, 得出的数据如下表 2—1 所示, 表中从第 1 行到第 8 行, 切削速度从 55 米/分逐渐增加到 285 米/分 (其他条件不变), 切削力从 77 公斤逐渐减小到 67 公斤。将这个结果, 画在直角坐标系中, 得图 2—16 中的 $v-P_z$ 关系曲线。

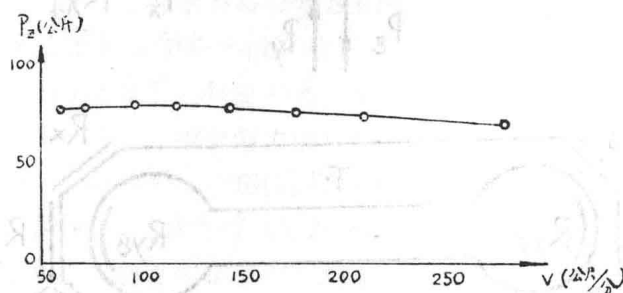


图 2—16

从第 9 行到第 12 行, 送进量从 0.1 毫米/转逐渐增大到 0.4 毫米/转 (其他条件不变), 切削力从 54 公斤逐渐增大到 155 公斤。将这个结果画在直角坐标系中, 得图 2—17 中的 $s-P_z$ 关系曲线。

从第 13 行到第 16 行, 切削深度从 1.6 毫米逐渐减小到 0.4 毫米 (其他条件不变), 切削力从 122 公斤逐渐减小到 35 公斤。将这个结果画在直角坐标系中, 得图 2—17 中的 $t-P_z$ 曲线。

从上述三条曲线可以清楚看出: 随着切削速度 (v) 的增大, 切削力 (P_z) 有所减小, 需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com